

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, AUTOMÁTICA E INFORMÁTICA  
INDUSTRIAL



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE  
ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE  
INVERSORES FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS EN LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (PERÚ)**

Proyecto Fin de Carrera

Autor: Dña. Zaida Garrido Velasco  
Tutores: D. Javier Muñoz Cano  
D. Manfred Horm  
Madrid, Marzo de 2011



## **Agradecimientos**

En primer lugar a mi familia que me ha apoyado y soportado durante toda la carrera. A mis amigas del equipo de baloncesto y mis compañeros de la escuela que siempre me han ayudado y animado cuando lo he necesitado. A la persona que estuvo pendiente de mí cada día de mi estancia en Perú sacándome una sonrisa siempre que lo necesitaba.

Agradecer a Javier Muñoz el estar siempre atento a resolver mis dudas y problemas aún estando a tantos kilómetros de distancia. A Manfred Horn por ayudarme en todo lo posible y acogerme en su facultad aún sin ser su estudiante y a todo el personal de la Universidad Nacional de Lima por tratarme tan bien. Por último querría agradecer a la Politécnica de Madrid la oportunidad de realizar un proyecto con una beca tan fantástica como es la de Cooperación al Desarrollo.



## **Resumen**

La electrificación rural fotovoltaica es cada vez más una necesidad vital para el completo abastecimiento eléctrico en Perú. La gran extensión del país y su diversidad hacen imposible el acceso de la red eléctrica a muchas zonas. Por este motivo se están realizando proyectos, normas y si están promoviendo acciones de cooperación internacional que permitan asegurar la calidad eléctrica, reforzar el sistema eléctrico y promover el uso sostenible de energía. Uno de los componentes de los sistemas fotovoltaicos es el inversor. Su función es la de transformar corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). El uso de este componente se está extendiendo cada vez más ya que las cargas que se pueden conectar a los sistemas fotovoltaicos son de mayor diversidad.

En este marco se encuadra este proyecto cuya finalidad es evaluar distintos inversores utilizados en Perú en las instalaciones fotovoltaicas, determinando con ello si cumplen con la normativa actual peruana y si dicha normativa es significativa, para el buen funcionamiento del componente. Para ello se han probado distintas especificaciones técnicas evaluando su importancia para el buen funcionamiento del inversor y con ello la mejora de toda la instalación. También se ha establecido cómo se pueden medir todas las especificaciones en un laboratorio local, utilizando para ello las instalaciones con las que cuenta la Escuela de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima (UNI).

Asimismo, se ha realizado una propuesta de estándar técnico para instalaciones aisladas con las conclusiones sacadas de los ensayos realizados en el laboratorio sobre las especificaciones técnicas.



# INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	NORMAS TÉCNICAS DE INSTALACIONES RURALES EN SURAMÉRICA .....	14
2.1	Perú.....	15
2.1.1	Características generales .....	15
2.1.2	Características físicas.....	16
2.1.3	Características eléctricas.....	17
2.1.4	Funcionamiento en condiciones extremas de operación.....	18
2.1.5	Protecciones.....	18
2.2	Bolivia.....	19
2.3	Colombia .....	19
2.4	Chile .....	20
2.5	Ecuador .....	20
2.6	España .....	20
2.6.1	Cargas en AC .....	20
2.6.2	Fiabilidad .....	21
2.6.2.1	Lado de DC.....	21
2.6.2.2	Lado de AC.....	22
2.6.2.2.1	Capacidad de potencia.....	22
2.6.2.2.2	Regulación .....	22
2.6.2.2.3	Distorsión armónica.....	23
2.6.2.2.4	Protecciones.....	23
2.6.3	Seguridad .....	23
2.6.3.1	Protección contra contactos directos.....	24
2.6.3.2	Protección contra contactos indirectos.....	25
2.6.3.2.1	Circuito AC .....	25
2.6.3.2.2	Circuito DC .....	26
2.6.3.3	Protección adicional contra contacto directo o indirecto en el lado de DC.	27
2.6.4	Rendimiento energético y de acondicionamiento de potencia .....	27
2.6.4.1	Eficiencia Energética .....	27
2.6.5	Comodidad de uso.....	27
2.6.6	Instalación y mantenimiento.....	28
3	INVERSORES UTILIZADOS EN PERÚ.....	29



3.1	Steca .....	30
3.2	Isofotón.....	31
3.3	Studer.....	33
4	BANCO DE ENSAYOS .....	34
4.1	Montaje.....	35
4.2	Características y mediciones .....	40
4.2.1	Distorsión armónica .....	41
4.2.2	Regulación de la tensión y la frecuencia .....	42
4.2.3	Tensión de desconexión y reposición .....	43
4.2.4	Potencia Nominal y Potencia de Arranque.....	44
4.2.5	Eficiencia o rendimiento.....	46
4.2.6	Autoconsumo.....	47
5	RESULTADOS.....	48
5.1	Distorsión Armónica.....	49
5.2	Regulación de tensión y frecuencia .....	50
5.3	Tensión de desconexión y reposición .....	52
5.4	Potencia nominal y Potencia de arranque.....	54
5.5	Eficiencia o rendimiento.....	55
5.6	Autoconsumo.....	58
6	CONCLUSIONES.....	59
7	BIBLIOGRAFÍA .....	61
ANEXO I: PROPOSICIÓN DE ESTÁNDAR TÉCNICO PARA INVERSORES USADOS EN SISTEMAS AISLADOS.....		64





# **1 INTRODUCCIÓN**



## Introducción

El aumento de la demanda eléctrica, así como la necesidad de dar abastecimiento a mayor parte de la población en Perú, ha hecho que la electrificación rural tome especial importancia. El consumo acumulado de energía eléctrica ha crecido un 6,8% y se espera que al terminar 2010 llegue al 7,5%.

La falta de energía eléctrica conlleva importantes consecuencias para toda la comunidad tanto en el ámbito familiar como en el colectivo. La imposibilidad del acceso a la electricidad en el ámbito familiar acarrea falta de iluminación privada, equipamiento doméstico e imposibilidad de tener bombas de agua entre otros, mientras que en el ámbito colectivo conlleva la falta de servicios públicos e iluminación pública. El consumo de electricidad en las zonas rurales implicaría importantes mejoras tanto en la vida cotidiana como en la económica, ya que se podría disponer de máquinas de coser, riego, música, centros sociales, etc. El acceso a la electricidad va mucho más allá que la falta de ella ya que conlleva cambios sociales y culturales. Mejora la existencia colectiva, el acceso a medios de comunicación, descentraliza el esquema tradicional (el acceso a la energía viene condicionado por la importancia económica y demográfica), mejora la situación de los grupos sociales más marginados (mujeres y niños) y eliminan la dependencia del exterior<sup>2</sup>.

Aún existen 7 millones de peruanos sin acceso a la red eléctrica. Esto es debido al difícil acceso de algunas zonas del País, que impiden la llegada de la electrificación. Esto unido al hecho de que hay zonas poco pobladas y lejanas a las que no resulta rentable facilitarles acceso a la red, han hecho que la única solución sea la existencia de generación local de electricidad.

Por ello el Ministerio de Energía y Minas ha realizado programas de electrificación rural empleando diversas tecnologías. Estas tecnologías son principalmente la hidráulica, la energía solar y la eólica. La utilización de este tipo de energías abastecería necesidades domésticas, alumbrado público, telecomunicaciones, señalización, etc.

Los consumos de estas instalaciones deben ser moderados, por lo que se deben emplear electrodomésticos y bombillas de alta eficiencia y tener en cuenta criterios de ahorro energético.

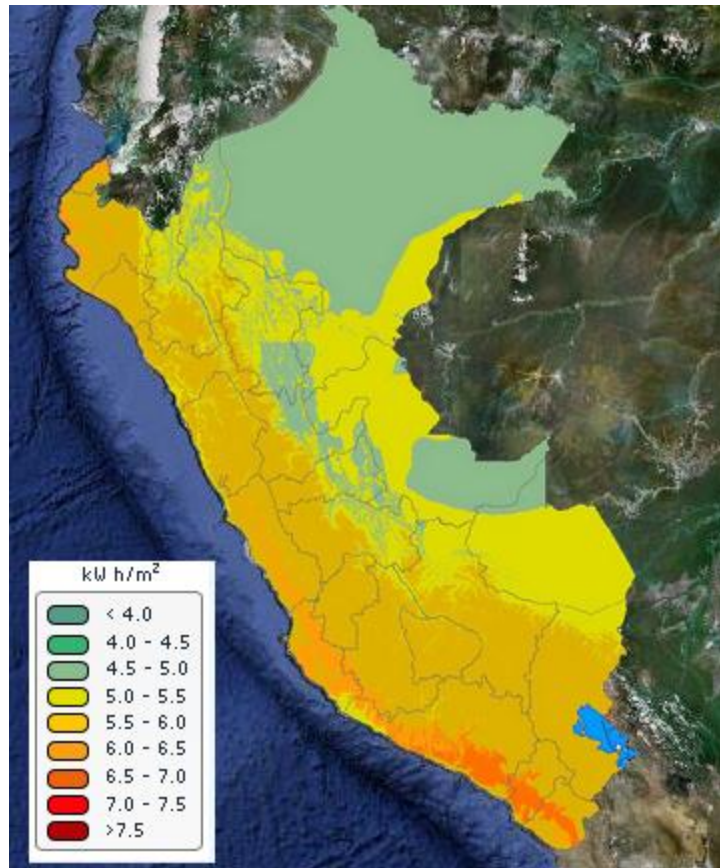
Existen diferentes barreras tecnológicas en la electrificación rural por las cuales estas energías no terminan de despegar. La adecuación técnica de los equipos no es



la correcta para las condiciones de trabajo que se necesitan en las distintas zonas del País. Se necesitan equipos robustos y adecuados para realizar instalaciones duraderas y fiables que sean económicamente viables. La disponibilidad de piezas de repuesto, no es sencilla en muchas zonas. Por eso es muy importante que se garantice el buen funcionamiento, así como la larga vida de los aparatos que se utilizan. Es de gran importancia la implementación y adaptación de normas técnicas y estándares, para los distintos equipos que vayan a utilizar. Con esto se pretende garantizar el rendimiento a largo plazo, la seguridad de los mismos y el respeto al medio ambiente en las zonas electrificadas. Los costes referidos al recambio y/o reparación disminuirían, o se anularían. De esta manera se conseguiría que estas zonas no sufrieran falta de suministro por avería, durante el tiempo que durara dichas operaciones.

Una de las energías renovables más rentables es la energía solar. Su disponibilidad es grande y aprovechable por mucha parte del año como se muestra en la Figura 1. Se dispone de un promedio anual de 4-5 kW/m<sup>2</sup> día en la costa y la selva, y de 5-6 kW/m<sup>2</sup> día aumentando de norte a sur. El mantenimiento de las instalaciones solares es mínimo.

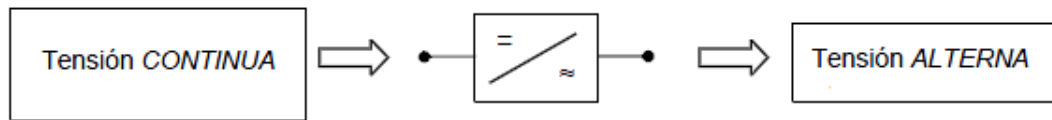




**Figura 1:** *Energía solar en Perú<sup>22</sup> en Kwh/m<sup>2</sup>*

Uno de los componentes que se utiliza en las instalaciones rurales de energía solar fotovoltaica es el inversor. Los inversores convierten la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) permitiendo así operar con cargas que funcionen con corriente alterna. El uso de inversores, permite a los usuarios disponer de un servicio eléctrico, similar al que proporciona la red eléctrica en las zonas urbanas. Con su utilización, la energía generada en el sistema fotovoltaico, puede ser transformada en corriente alterna íntegramente, o pueden alimentarse simultáneamente cargas de corriente alterna y continua. Su uso en la mayoría de las instalaciones rurales es fundamental, ya que gracias a ellos se pueden conectar cargas como lavadoras, neveras, bombas de agua, etc.





**Figura 2:** Esquema básico de la función de un inversor

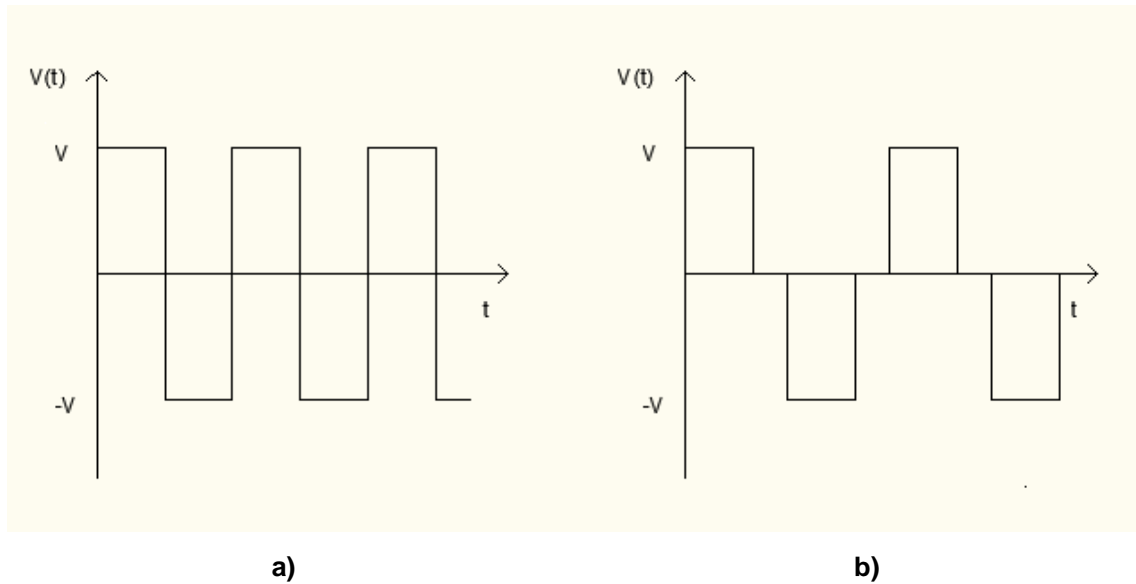
Sin embargo, el uso de inversores también entraña ciertas dificultades que es necesario abordar para asegurar la calidad técnica de los sistemas. En primer lugar, las cargas de corriente alterna están diseñadas para trabajar en las condiciones particulares de la red eléctrica, las cuáles pueden no ser mantenidas por los inversores. En segundo lugar, los inversores introducen pérdidas de energía que es necesario conocer para el dimensionado de los sistemas. Por último, aunque no menos importante, los inversores son equipos relativamente caros, cuyas averías no sólo afectan al coste de mantenimiento de los sistemas, sino también a la satisfacción de los usuarios, por lo que su fiabilidad tiene que ser elevada. Su avería supondría el fallo de toda la instalación con sus correspondientes gastos económicos y de falta de suministro en la zona afectada.

Los inversores se basan en el uso de dispositivos electrónicos que actúan como interruptores, permitiendo interrumpir las corrientes y conmutar su polaridad. Para sistemas fotovoltaicos aislados, se utilizan inversores de conmutación forzada o autoconmutados. Ellos mismos realizan la apertura y cierre forzada sin necesidad de la red eléctrica. Existen distintos tipos dependiendo de la forma de onda como se puede observar en la Figura 3 a, 3 b y 4. Se distinguen:

- Onda cuadrada
- Onda sinusoidal
- Onda trapezoidal

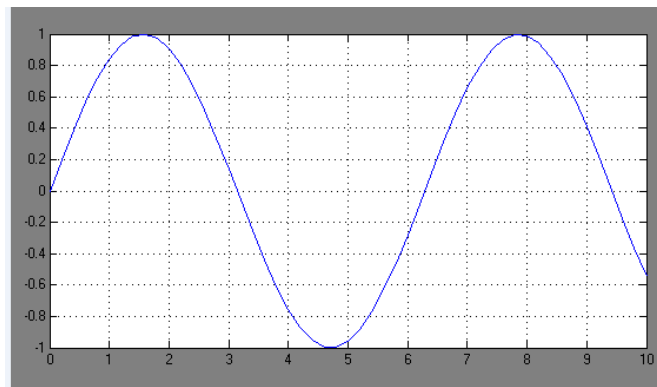


## Introducción



**Figura 3:** (a) onda cuadrada, (b) onda trapezoidal

Los que trabajan con forma de onda sinusoidal son los únicos que pueden alimentar cualquier tipo de carga, ya que reproducen la forma de onda de la red eléctrica casi idénticamente



**Figura 4:** Onda sinusoidal

Para el buen funcionamiento de este componente en la instalación, es necesario conocer diferentes características. Todas ellas vienen recogidas en la norma técnica de instalaciones fotovoltaicas. Cada país cuenta con su propia norma detallándose las referentes a varios países suramericanos en el Capítulo 2. El contar con una norma de



este tipo es fundamental para el buen desarrollo de toda la instalación ya que como se ha comentado anteriormente, la reparación, reposición o mantenimiento por fallo o mal uso de cualquier componente de la instalación, podría ser inviable o muy costosa en determinadas zonas. La lejanía y la dificultad para llegar a ciertos lugares, como puede ser la selva, hacen que la necesidad de instalaciones así como de componentes fiables y eficientes sea esencial. Las aplicaciones de FV en corriente alterna son muy pocas. La mayoría de los inversores instalados pertenecen a tres empresas como se detallará en el Capítulo 3.

Con la intención de medir las distintas características de inversores para comprobar el buen funcionamiento de los mismos se ha realizado la construcción de un banco de ensayos como se detallará en el Capítulo 4. Se explicará el montaje del mismo así como se definirán las características a evaluar y la forma en que se miden las mismas. Posteriormente se realizará una evaluación de los resultados en el Capítulo 5.

La realización de este proyecto está enmarcada en la Beca de Cooperación al Desarrollo de la Universidad Politécnica de Madrid, en colaboración con la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, más concretamente con la Facultad de Ciencias. La construcción del banco de ensayos permanecerá en uno de los laboratorios de dicha Facultad para que puedan probar de este modo los inversores que requieran. Con las conclusiones de los ensayos realizados que se detallarán en el Capítulo 6 y la Proposición de Estándar Técnico que especificará en el Anexo I se pretende contribuir a la mejora de las instalaciones fotovoltaicas del Perú y así conseguir sistemas de electrificación más fiables y efectivos. Se pretende lograr a través del programa de “Electrificación con fuentes renovables a gran escala para la población rural Iberoamericana” (ELECSOLRURAL), llevado a cabo por el centro de energías Renovables y Uso Racional de Energía de la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú. Este programa es el resultado de una acción de coordinación de proyectos de investigación financiada por CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia Y Tecnología para el Desarrollo).



## **2 NORMAS TÉCNICAS DE INSTALACIONES RURALES EN SURAMÉRICA**



Las normas técnicas de instalaciones fotovoltaicas referidas a este equipo electrónico son escasas en Suramérica, debido al poco uso de los inversores en dichas instalaciones. A continuación se detallan las normativas referentes a diversos países suramericanos. Las normativas referentes a Perú, Bolivia y España se adjuntan a la memoria en un CD.

## 2.1 PERÚ

Es el país latinoamericano que cuenta con la normativa más extensa. Además dispone de una ficha técnica para la evaluación de los inversores. En los últimos años ha habido actualizaciones datándose la última en enero del 2007. Las especificaciones que recoge dicha norma<sup>14</sup> son:

### 2.1.1 Características generales

- Debe estar debidamente etiquetado. La etiqueta debe estar localizada sobre la superficie del inversor y conteniendo la siguiente información; nombre del fabricante, modelo, número de serie, denominación comercial (si tuviera), tensión de entrada, tensión de salida, potencia nominal y el diagrama eléctrico, el cual debe mostrar claramente la localización de los terminales para hacer las conexiones en corriente continua y alterna.
- El inversor debe estar acompañado por su cartilla de especificaciones técnicas (las presentadas en la etiqueta, eficiencia eléctrica para cargas parciales, autoconsumo, corriente pico, tensión de desconexión de las cargas, tensión de reposición de las cargas y protecciones), de instalación, de operación y mantenimiento, de seguridad personal y los certificados de garantía solicitados.
- Debe funcionar bajo las condiciones climáticas y geográficas de la región donde será instalado el SFV, sin presentar ninguna deficiencia de funcionamiento. Las características del inversor en estas condiciones deben ser iguales o superiores a lo solicitado.





### **2.1.2 Características físicas**

- La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o, en su defecto, arenado y pintado al horno, con doble base anticorrosiva (epóxica) o similar.
- La polaridad de los terminales del lado DC y AC deben estar identificados claramente sobre la superficie del inversor.
- En el caso que el inversor sea protegido mediante fusibles o elementos similares, la localización del fusible debe estar claramente identificada. El fusible o elemento similar debe poder ser cambiado por el usuario de forma simple, sin necesidad de abrir el inversor o del uso de herramientas.
- De no poseer el inversor una protección electrónica, ésta debe ser garantizada mediante fusibles. Para ello, el portafusible del inversor debe permitir un fácil acceso al fusible, cuya ubicación y capacidad en amperes debe estar claramente identificada. El fusible debe ser fácilmente cambiable, sin requerir el uso de herramientas y sin necesidad de destapar el controlador. El portafusible debe estar firmemente unido al inversor.
- Se debe tener acceso a la placa electrónica del inversor, debiendo ser posible identificar sus dispositivos a fin de que pueda ser reparado localmente. De ninguna manera debe encontrarse sellado o su placa o dispositivos cubiertos con algún material.
- El encendido del inversor podrá ser automático o manual. En cualquier caso, el inversor debe contar con un interruptor para el encendido o apagado del equipo.
- Todos los terminales, tuercas, arandelas y demás elementos accesorios deben ser de material inoxidable.



### **2.1.3 Características eléctricas**

- La distorsión armónica total en tensión del inversor debe ser inferior a 5% en relación a la tensión fundamental RMS de la forma de onda para cualquier factor de carga y para todo el rango de tensiones de entrada de 11,4 V a 13,5V.
- El autoconsumo del inversor en modo de espera o en vacío, debe ser menor que 3 % de la potencia de consumo nominal del inversor para cualquier factor de carga y para todo el rango tensiones de entrada de 11,0 V a 13,5 V.
- Debe tener una eficiencia superior al 80 % para factores de carga entre 15% y 90 % para todo el rango de tensiones de entrada de 11,4 V a 13,5 V para cualquier condición de funcionamiento solicitado.
- La tensión de salida en corriente alterna se debe mantener entre  $\pm 10$  % del valor nominal, para cualquier factor de carga y para todo el rango de tensiones de entrada de 11,4 V a 13,5 V.
- La frecuencia nominal se debe mantener entre  $\pm 5$  % del valor nominal para cualquier factor de carga y para todo el rango de tensiones de entrada de 11,4 V a 13,5 V.
- La tensión de desconexión del consumo debe ser mayor a 11,4 V y menor a 11,7 V.
- La tensión de alarma por corte inminente del consumo debe estar entre 11,82 V y 12,0 V.
- La tensión de reposición del consumo debe estar entre 13,5 V y 13,8 V.
- La información visual proporcionada por el inversor debe ser clara, la misma que puede darse mediante señales luminosas, digitales o analógicas. El inversor debe proporcionar como información mínima la siguiente:



- ✓ Tensión o estado de carga de la batería referencial.
- ✓ Señal de alarma por proximidad de desconexión de las cargas y desconexión del consumo.
- Debe ser compatible con las cargas a ser conectadas a éste, tanto parcialmente como en conjunto.
- Debe entregar hasta 6 veces su corriente nominal al momento de encender una o más cargas para todo el rango de factores de carga desde que la batería o el conjunto de éstas tengan una tensión igual o superior a 13,0 V.
- No debe producir ruido o interferencias en otros componentes o en las cargas de consumo, especialmente en aparatos de recepción o emisión de señales a una distancia de más de 3 metros.

#### **2.1.4 Funcionamiento en condiciones extremas de operación**

Debe soportar sobrecargas de 25 % durante 1 minuto y de 50 % durante dos segundos desde que la batería o el conjunto de éstas tengan una tensión de entrada igual o superior a 12,1 V.

#### **2.1.5 Protecciones**

- Debe estar protegido contra cualquier apagado repentino en la alimentación en DC en todo el rango de tensiones de entrada de 11,4 V a 13,8 V y para cualquier factor de carga.
- Debe estar protegido contra inversiones de polaridad a la entrada del inversor.
- La caja del inversor debe poseer, como mínimo, un índice de protección:
  - ✓ IP 61 para regiones costeñas o andinas que no superen los 2300 msnm.
  - ✓ IP 43 para regiones con alturas superiores a los 2 300 msnm.
  - ✓ IP 53 para regiones amazónicas o en ceja de selva que no superen los 2300 msnm.



- Opcionalmente, el inversor podrá ser instalado en una caja certificada con el índice de protección correspondiente a cada caso. El volumen mínimo de esta caja debe ser equivalente a 2 veces al volumen del inversor. La instalación del inversor debe realizarse en el centro de la pared posterior de la caja. En el caso que se quiera usar la caja certificada para incorporar otros componentes, las instancias mínimas entre componentes y las paredes laterales debe ser de 5 cm.

## 2.2 BOLIVIA

El catálogo de normas realizado por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) cuenta con la norma NB 1056<sup>15</sup>. Esta norma contiene la instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 300Wp de potencia. Contiene información sobre baterías, reguladores, cableado y cargas pero no contiene ninguna especificación sobre inversores.

## 2.3 COLOMBIA

La normativa en Colombia es la NTC 5627<sup>17</sup>. Está destinada a componentes solares específicos, entre ellos el inversor. En esta norma se especifica qué ha debido realizar la empresa fabricante (inspecciones, control de calidad, materiales específicos...) y como ha debido marcar el componente (modelo, número de serie...). También contiene la documentación necesaria que debe contener cada componente. En el caso del inversor debe ser información del tipo corriente máxima de entrada, corriente máxima de salida, tensión de entrada nominal, tensión de salida nominal y su rango, temperatura ambiente máxima, etc. Toda la norma viene referida a los datos dados por el fabricante pero no a los mínimos que tiene que cumplir el componente de los datos mencionados.



## 2.4 CHILE

La norma chilena<sup>16</sup> llevada a cabo por el Instituto Nacional de Normalización establece los principios generales para los sistemas fotovoltaicos en relación al generador fotovoltaico, el regulador de carga, la batería y el cableado. No contiene información sobre los inversores.

## 2.5 ECUADOR

En el instituto ecuatoriano de normalización no hay una norma específica para energía solar ni instalaciones fotovoltaicas.

## 2.6 ESPAÑA

No existe una norma oficial que desarrolle las especificaciones técnicas. La norma que se detalla a continuación ha sido desarrollada en el Instituto de Energía Solar con el ánimo de contribuir a mejorar la calidad técnica de los inversores<sup>13</sup>. De todas las normas comentadas anteriormente esta es la más extensa y detallada. Este proyecto de norma contiene los criterios de fiabilidad, seguridad, eficiencia energética, instalación y mantenimiento que debe tener un inversor. Clasifica los requisitos técnicos en tres categorías.

- ✓ Obligatorio  $\Rightarrow$  Afectan directamente a la seguridad o fiabilidad.(C)
- ✓ Requisitos recomendados  $\Rightarrow$  Necesarios para que trabajen adecuadamente.  
Su incumplimiento producirá aumento de los costos.(R)
- ✓ Requisitos aconsejados (S)

### 2.6.1 Cargas en AC

- Cargas reactivas o no lineales, especialmente lámparas fluorescentes, deben tener un factor de potencia  $>0,9$  (R)



- Es necesario especificar la carga para lo cual es necesario determinar:
  - Aplicación
  - Potencia nominal
  - Horas de operación diaria
  - Incompatibilidades

## **2.6.2 Fiabilidad**

### **2.6.2.1 Lado de DC**

- El inversor debe estar conectado preferiblemente a la salida del regulador (R)
- Los inversores conectados al regulador, deben garantizar la seguridad y funcionamiento de toda la carga en el rango permitido por el regulador. (C)
- Si conectamos el inversor directamente a la batería debe protegerla frente a descarga con las mismas reglas establecidas para el regulador.(C)
- El inversor debe estar protegido contra un corte repentino de suministro en DC en cualquier condición de carga. (C)
- El inversor debe resistir sin ser dañado cualquier tensión de entrada en un rango de -25% a 33% de la tensión nominal de entrada (9V a 16V, para inversores de 12V) (R)
- La sección de los cables debe causar menos del 1% de la tensión de pérdidas. (C)
- Los terminales deben tener una baja resistencia eléctrica, lo que lleva a tener una tensión de pérdidas menor que el 0,5% de la tensión nominal. Esto se aplica a cada terminal individualmente en condiciones de máxima corriente. (C)
- La caída de tensión máxima entre la batería y el inversor no debe interferir en el correcto funcionamiento de cualquier componente.(C)



## **2.6.2.2 Lado de AC**

### **2.6.2.2.1 Capacidad de potencia**

- La potencia nominal del inversor debe ser igual o superior a la suma de la potencia nominal de todas las cargas individuales conectadas simultáneamente. (C)
- Debe asegurarse que el inversor funcione al encender una carga con el resto funcionando normalmente. (C)
- El inversor debe operar de forma segura al menos un minuto al 125% de potencia nominal y 150% durante 25 segundos para facilitar el arranque de motores y otros equipos.(S)

### **2.6.2.2.2 Regulación**

- La fluctuación del valor eficaz de la tensión de salida de CA debe ser menor del 10% del valor nominal en cualquier condición y para todos los voltajes DC de entrada. (C)
- La fluctuación del valor eficaz de la tensión de salida de CA debe ser menor del 5% del valor nominal en cualquier condición y para todos los voltajes DC de entrada. (R)
- La fluctuación en frecuencia debe ser menor al 2% del valor nominal en cualquier condición de estado y para todos los voltajes DC que permite el área de distribución.(C)
- La fluctuación en frecuencia debe ser menor al 1% del valor nominal en cualquier condición de estado y para todos los voltajes DC que permite el área de distribución.(R)



### **2.6.2.2.3 Distorsión armónica**

- A pesar de la distorsión, el inversor debe garantizar el adecuado funcionamiento de toda la carga especificada.(C)
- A pesar de la distorsión del inversor, no se deben producir interferencias en cualquier condición de funcionamiento (C)
- La onda sinusoidal es preferible a la onda no sinusoidal. La distorsión con carga lineal no debe ser mayor del 5%. (R)

### **2.6.2.2.4 Protecciones**

- El inversor debe ser capaz de resistir la desconexión repentina de todas las cargas al mismo tiempo permitiendo cargas individuales.(C)
- El inversor debe ser capaz de resistir cualquier sobrecarga y cortocircuito en la salida. (C)
- El inversor debe ser capaz de proteger la carga de cualquier posible sobrecarga y cortocircuito en la salida.

### **2.6.3 Seguridad**

Establece la protección contra dos tipos de contacto; directo e indirecto. El directo se define como el contacto con partes que llevan tensión durante el funcionamiento normal, e indirecto se define como el contacto con partes que normalmente están inactivas, pero pueden ser activadas en el caso de un fallo de aislamiento.

Para la seguridad se deben cumplir las siguientes características:

- Los voltajes de circuito abierto en condiciones estándar de prueba tienen que ser inferior a 120 V DC. La protección contra contactos indirectos en DC se garantiza siempre que el lado de DC esté aislado del de AC con un grado de seguridad equivalente a la de un transformador de aislamiento.





- Las líneas de distribución de AC deben ser inferiores a 400m. El producto de la longitud del cable (en metros) por la tensión nominal (en voltios), debe ser inferior a 105, con un máximo de 500 metros.

Para protecciones frente a contactos directos e indirectos en AC y DC suponiendo que los circuitos se encuentran aislados entre sí, con un nivel de seguridad equivalente al de un transformador de aislamiento.

### **2.6.3.1 Protección contra contactos directos**

- Debe ser proporcionada la protección contra contactos directos en el lado de AC. (C)
- La protección contra contactos directos en el lado de DC debe producirse cuando el voltaje de salida del generador fotovoltaico sea superior a 60 V. (C)
- La protección contra contactos directos por medio de obstáculos o colocación fuera de alcance, sólo debe aplicarse en lugares con acceso restringido a personas no autorizadas. (R)
- En lugares con acceso sin restricciones, la protección contra contactos directos debe ser efectuada por medio del aislamiento de partes vivas, barreras o recintos. (R)
- Los aislamientos con partes vivas deben ser capaces de resistir esfuerzos mecánicos, químicos, eléctricos o térmicos en condiciones normales de trabajo.(C)
- Las barreras o recintos deben proporcionar un grado mínimo de protección de la PI o IP 2X XXB, o si se colocan en un lugar fácilmente accesible, IP 4X o IP xxD. (R)
- Dispositivos diferenciales residuales de alta sensibilidad ( $\leq 30\text{mA}$ ) deben ser utilizados en el lado de AC.(R)



### 2.6.3.2 Protección contra contactos indirectos

El límite de tensión máxima de contacto que se permite que se mantenga indefinidamente es 50 V para AC y 120 V para DC<sup>a</sup>. En el lado de DC se cumple sin problemas pero en el de AC es necesario tomar medidas adicionales de protección. Hay dos clases de equipos

- 1.- Tiene al descubierto partes conductoras en las que hay una tensión de contacto peligrosa. Este equipo debe proporcionar un medio de conectar sus partes conductoras expuestas a un conductor de protección (sistemas de puesta a tierra) o una compensación de potencial desenterrado (sistema flotante).
- 2.- Se basa en un aislamiento doble o reforzado que impide la presencia de una tensión de contacto peligrosa.

#### 2.6.3.2.1 Circuito AC

- La protección por desconexión automática tiene que ser utilizada en modalidad AC excepto que se apliquen otras medidas de protección contra contacto indirecto. (C)
- Los sistemas flotantes se deben utilizar en pequeñas instalaciones fotovoltaicas, en donde los aparatos de AC son operados de vez en cuando. (R)
- Los sistemas de puesta a tierra se deben utilizar en los sistemas fotovoltaicos medianos y grandes en los que la alimentación se proporciona principalmente en CA para los diferentes tipos de carga. (R)
- Los sistemas preferibles de puesta a tierra son los TN-S. (R)
- La desconexión automática del suministro puede ser producida por los fusibles, por circuitos de interruptores, dispositivos de corrientes residuales, o por el inversor en sí ( activación de la protección de cortocircuito) (R)

---

<sup>a</sup> En casos especiales estos límites se reducen a 25 V.



- El conductor de protección debe ser diseñado para garantizar una caída de tensión por debajo de 50 V entre cualquier equipo de clase I y el punto de conexión a la puesta a tierra del sistema. Esto se aplica al desconectar la corriente. (R)
- La resistencia de puesta a tierra del electrodo enterrado debe garantizar una tensión de contacto a menos de 50 V. Esto se aplica en la desconexión de la corriente. (R)
- Si el inversor no es de clase II, se proveerá de un grado de seguridad equivalente durante la instalación de bloqueo del inversor dentro de una caja aislada bajo llave. (R)
- El cableado de AC se debe instalar para reducir la posibilidad de puesta a tierra fallidas, por ejemplo, a los cables con una cubierta de aislamiento individual añadirles un doble aislamiento o proporcionar un aislamiento complementario (tubos de plástico, aislar los conductores, etc.) (R)
- Los conductores de AC no deben estar puestos a tierra intencionadamente (C)
- Si sólo hay un equipo AC de la clase I, la protección contra contactos indirectos está garantizada y su carcasa metálica no debe ser conectada a ningún conductor de protección.(R)
- Si hay dos o más equipos AC de clase I, sus cubiertas metálicas deben estar interconectadas compensando su potencial.(R)
- La desconexión de alimentación puede ser proporcionada por un RCD que se coloca al comienzo de la línea de distribución de AC, conectando el conductor equipotencial descubierto a un conductor vivo.(S)

#### **2.6.3.2.2 Circuito DC**

- El inversor debe proporcionar DC / AC de separación con un grado de seguridad equivalente al de un transformador de aislamiento. (R)



- El inversor se seleccionará de acuerdo a los requisitos de los equipos de Clase II o aislamiento equivalente. (R)
- Como alternativa a la obligación del inversor de clase II, si por lo menos un circuito AC o el DC está dentro de un inversor de clase I, debe ser separado de la parte metálica con un grado de aislamiento equivalente a equipos de clase II. (C)
- Conductores vivos en DC o AC deben estar preferiblemente físicamente separados. (R)

#### **2.6.3.3 Protección adicional contra contacto directo o indirecto en el lado de DC**

- Si el inversor no ofrece separación DC/AC segura, la protección contra contacto indirecto y directo en el lado de DC, debe ser asegurada usando un equipo de clase II o aislamiento equivalente (R)

#### **2.6.4 Rendimiento energético y de acondicionamiento de potencia**

##### **2.6.4.1 Eficiencia Energética**

- La eficiencia de los inversores con cargas resistivas debe ser mayor que 0,8, cuando la potencia de salida es superior a 0,1 veces la potencia nominal y en condiciones nominales de voltaje de continua. (R)
- Las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo del inversor en los periodos en los que las cargas estas apagadas debe ser menor que el 20% del consumo diario de energía de AC. (R)

##### **2.6.5 Comodidad de uso**

- Si el voltaje en AC está presente en la salida debe ser indicado por medio de un indicador visual. (R)



- Si el inversor protege la batería contra descarga profunda, la desconexión de las cargas de AC por esta razón debe ser indicada por medio de un indicador visual (R)
- Si el inversor está desconectado por condiciones inusuales, corto circuitos por ejemplo, la protección debe ser indicada por medio de un indicador visual (R)
- Con el fin de ahorrar energía, la activación manual de displays puede ser realizada (S)

#### **2.6.6 Instalación y mantenimiento**

- El inversor debe estar ubicado en un lugar bien ventilado y seco. (R)
- Inversor debe ser colocado en un lugar de fácil acceso con acceso restringido a personas no autorizadas. (C)
- El inversor debe estar lejos de fuentes de calor y gases de la batería, y los espacios de ventilación no deben ser obstruidos. (C)



## 3 INVERSORES UTILIZADOS EN PERÚ

En el Perú las aplicaciones FV en corriente alterna son muy pocas, la mayoría de los inversores instalados han sido Steca e Isofotón. Actualmente los proveedores también están ofreciendo la marca Studer.

### 3.1 STECA

Esta empresa Alemana suministra productos de electrónica solar para sistemas fotovoltaicos conectados a red, aislados y solar térmico. Los distintos modelos que fabrica son:

- ✓ Steca solarix PI550,1100
- ✓ Steca AJ 275-12, 350-24, 400-48, 600-24, 700-48, 1000-12, 2100-12, 2400-24
- ✓ Steca XPC 1400-12.22---24.2200-48
- ✓ Steca Compact 1600-12, 2600-24, 4000-48
- ✓ Steca Xtender XTM 1500-12, 2000-12, 2400-24, 3500-24, 2600-48, 4000-48
- ✓ Steca Xtender XTH 3000-12, 5000-24, 6000-48, 8000-48

Todos ellos cuentan con tensión sinusoidal pura, excelente capacidad de sobrecarga, una óptima protección de la batería, alta fidelidad, detección automática de consumidor, protección contra la descarga total, protección a la sobretensión, protección a la sobrecarga, protección a los cortocircuitos y desconexión por sobretensión en la batería. Dependiendo del modelo podemos encontrar otras características interesantes como pueden ser potencia ajustable, posibilidad de conexión en paralelo, apoyo automático para grandes picos de potencia o alarmas acústicas de descarga total o sobrecalentamiento.

Todos ellos también cuentan con indicadores luminosos para indicar los estados de funcionamiento, un interruptor principal y detección de carga ajustable.

Son dispositivos que están especialmente indicados para sistemas de energía solar domésticos. Están certificados conforme a los estándares europeos (CE)



### 3.2 ISO FOTÓN

Fabrica todo tipo de componentes (baterías, inversores, reguladores, etc) pero cobra especialmente importancia en la fabricación de módulos fotovoltaicos.

Esta empresa Española produce tres tipos de inversores:

- ✓ Isoverter 1500
- ✓ Isoverter 3000
- ✓ Isoverter 3300

Los tres cuentan con alarmas sonoras para alta y baja tensión de la batería, sobredescarga, cortocircuito y sobretensión pero el modelo 3300 no cuenta con alarma para inversión de la polaridad. Sin embargo todos ellos si que cuentan con protecciones contra la sobredescarga, sobretensión, cortocircuito, polaridad inversa y contra alta o baja tensión de batería.

El inversor *Isoverter 1500* puede trabajar a 12, 24 o 48V y sus características son las siguientes:

	ISOVERTER 1500 / 12	ISOVERTER 1500 / 24	ISOVERTER 1500 / 48
FORMA DE ONDA DE SALIDA	Senoidal pura		
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	12 V	24 V	48 V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	10,8 - 16 V	21 - 32 V	40 - 62 V
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	1500 W		
TENSIÓN NOMINAL DE SALIDA	230 ó 120 V AC		
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA	≤ 5 %		
FRECUENCIA NOMINAL	50 / 60 Hz selectable por menú		
VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA	≤ 1 %		
RENDIMIENTO CON CARGA	Aproximadamente 90 %		
DISTORSIÓN ARMÓNICA CON CARGA RESISTIVA	≤ 2 %		
FUNCIONAMIENTO EN STAND-BY	Detección ajustable (cargas ≥ 11 W)		
POTENCIA PICO ADMISIBLE	1800 W (10 min.); 2000 W (60 seg.); 3000 W (3 seg.)		
AUTOCONSUMO	< 3 W		

**Figura 5:** Características del Isoverter 1500





## Inversores utilizados en Perú

Trabaja entre 0-45°C a plena carga, tiene controlador de temperatura y posee reset manual y rearme automático.

El modelo *Isoverter 3000* tiene las siguientes características:

	ISOVERTER 3000 / 24	ISOVERTER 3000 / 48
FORMA DE ONDA DE SALIDA	Senoidal pura	
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	24 V	48 V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	21 - 32 V	40 - 62 V
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	3000 W	
TENSIÓN NOMINAL DE SALIDA	230 ó 120 V AC	
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA	$\leq 5 \%$	
FRECUENCIA NOMINAL	50 / 60 Hz selectable por menú	
VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA	$< 1 \%$	
RENDIMIENTO CON CARGA	Aproximadamente 92 %	
DISTORSIÓN ARMÓNICA CON CARGA RESISTIVA	$\leq 2 \%$	
FUNCIONAMIENTO EN STAND-BY	Detección ajustable (cargas $\geq 11$ W)	
POTENCIA PICO ADMISIBLE	3600 W (10 min.); 4000 W (60 seg.); 6000 W (3 seg.)	
AUTOCONSUMO	$< 4$ W	

**Figura 6:** Características del Isoverter 3000

Trabaja entre 0-50°C a plena carga, tiene controlador de temperatura y posee reset manual y rearme automático.



El modelo *Isoverter 3300* tiene las siguientes características:

	ISOVERTER 3300 / 24	ISOVERTER 3300 / 48
FORMA DE ONDA DE SALIDA	Senoidal pura	
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	24 V	48 V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	20 - 32 V	40 - 64 V
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	3300 W	
TENSIÓN NOMINAL DE SALIDA	230 ó 120 V AC	
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA	$\leq 4 \%$	
FRECUENCIA NOMINAL	50 / 60 Hz	
VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA	$\leq 1 \%$	
RENDIMIENTO CON CARGA	Aproximadamente 92 %	
DISTORSIÓN ARMÓNICA CON CARGA RESISTIVA	$\leq 3 \%$	
FUNCIONAMIENTO EN STAND-BY	Detección ajustable (cargas $\geq 11$ W)	
POTENCIA PICO ADMISIBLE	3600 W (10 min.); 4000 W (60 seg.); 6200 W (3 seg.)	
AUTOCONSUMO	$< 100$ mA	

**Figura 7:** Características del Isoverter 3300

Trabaja entre  $-10$ - $50^{\circ}\text{C}$  a plena carga, tiene controlador de temperatura y posee reset manual y rearme automático.

### 3.3 STUDER

Esta empresa posee la oferta más amplia de inversores. Sus inversores son de onda sinusoidal pura capaces de operar sin dificultad en cualquier tipo de instalación que se requiera una buena calidad de onda. Los modelos que fabrica esta empresa son: AJ 200,400,800 y 2000; 612; 624; 648; 812; 824; 1212; 1224; 1248; 2324; 2348; 3324; 3548.

Dependiendo del modelo la potencia nominal varía entre 200 y 3500 W y la tensión de entrada puede ser 12,24 ó 48V. Poseen alarma sonora y algún modelo puede llegar a entregar una potencia pico de 5000W.



## 4 BANCO DE ENSAYOS

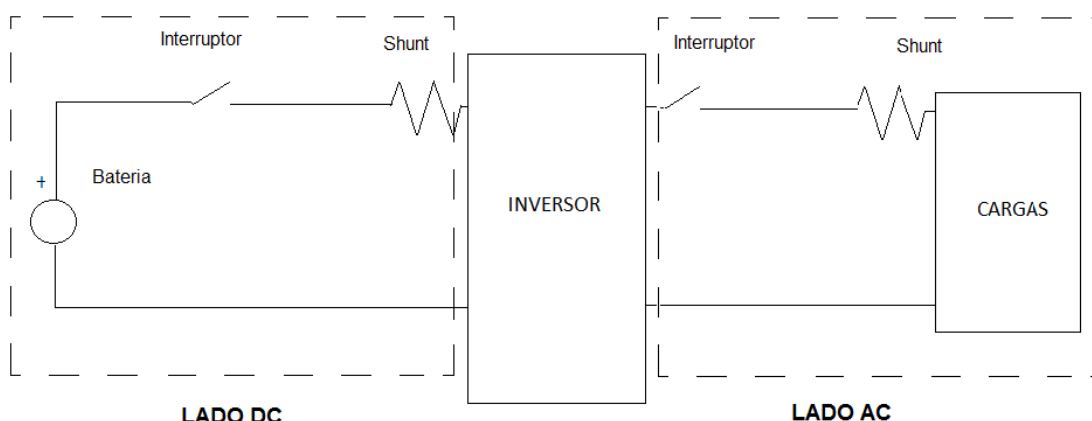
## Banco de ensayos

Con el fin de probar todas las especificaciones recogidas en el apartado de características eléctricas de la normativa Peruana, se ha construido un banco de ensayos. Los objetivos de probar dichas especificaciones son dos:

- Evaluar distintos inversores utilizados en Perú en las instalaciones fotovoltaicas, determinando con ello si cumplen con la normativa y si dicha normativa es significativa para el buen funcionamiento del componente.
- Establecer cómo se pueden medir todas las especificaciones en un laboratorio local.

### 4.1 MONTAJE

El montaje del banco de ensayos consta de dos partes, DC y AC.



**Figura 8:** Esquema de montaje

#### Lado de DC

Componente	Uso
Shunt	Utilizado para medir la intensidad en la entrada
Interruptor	Protección
Batería	Alimentación del inversor

**Tabla 1:** Componentes utilizados en el lado DC



El shunt es una resistencia muy pequeña que se utiliza para medir la intensidad que recorre un circuito sin necesidad de utilizar instrumental especializado. Por tanto no sería necesario si se dispone de pinzas amperimétricas de corriente continua. En este caso no se cuenta con dicho material por lo que será imprescindible para las mediciones.

El interruptor protege contra sobredescargas y cortocircuitos, provocando la desconexión de la fuente de alimentación cuando circula a través de él una intensidad mayor a la nominal del propio interruptor.

La conexión se debe realizar de la siguiente manera:

- Se conectará un cable desde el polo positivo de la batería a la entrada del interruptor.
- Otro cable se conectará desde el otro lado del interruptor a uno de los extremos del shunt.
- El otro terminal del shunt se conectará al polo positivo del inversor.
- Por último, se conectará el polo negativo de la batería con el negativo del inversor.

Cabe señalar que el inversor como mínimo cuenta con dos polos (en la entrada) y dos terminales (en la salida). En este caso se deberán hacer las conexiones en el polo positivo y negativo de la entrada. Además de estos, puede contar con otros para conectar cargas de corriente continua en el caso de que el inversor sea también regulador. Los cables utilizados en todas estas conexiones deben tener la suficiente sección como para soportar la intensidad que va a circular por ellos. Dicha intensidad se calcula dividiendo la potencia nominal del inversor entre su rendimiento a potencia nominal y la tensión de la batería. El valor resultante de esta operación se ha de multiplicar por un factor de seguridad ya que al hacer las pruebas de sobrecarga, la corriente de entrada supera el valor anterior. También es necesario considerar que no solo debe soportar el límite de la intensidad que va a circular por él, sino que también el límite de caídas de tensión ( típicamente el 1% de la tensión nominal) entre todos los elementos instalados entre la batería y el inversor.

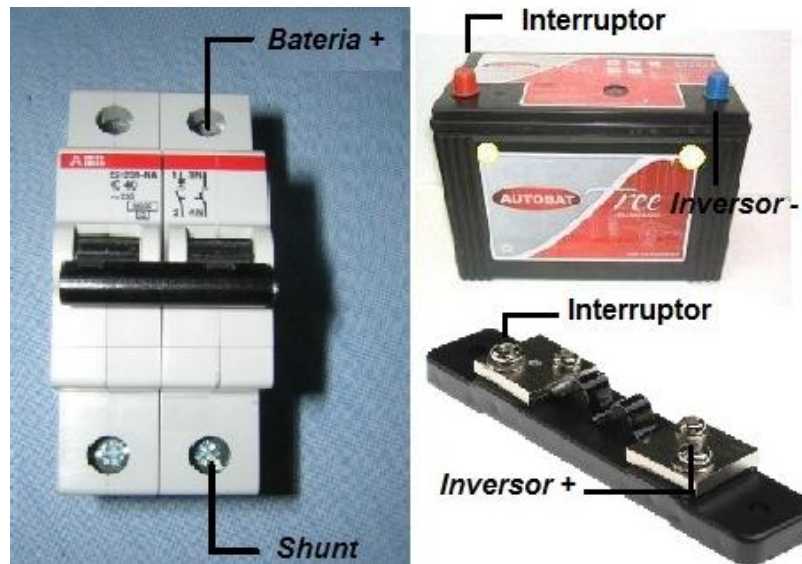


Una vez calculada la intensidad se escogerá la sección suficiente del cable según la siguiente tabla.

<i>SECCIÓN (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>INTENSIDAD (A)</i>
1,5	21
2,5	29
4	38
6	49
10	68
16	91
25	116
35	144
50	175
70	224
95	271
120	314
150	363
185	415
240	490
300	630

**Tabla 2;** *Sección necesaria de los cables según la intensidad*<sup>25</sup>





**Figura 9:** Conexiones del inversor, la batería y el shunt DC

### Lado de AC

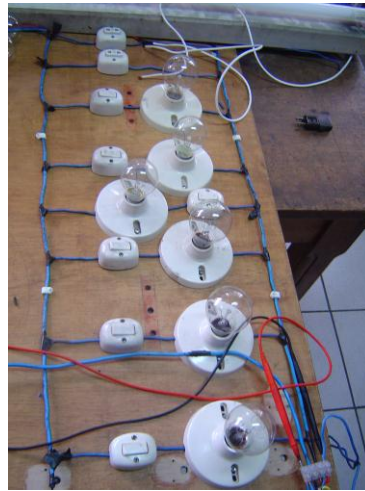
Componente	Uso
Shunt	Utilizado para medir la intensidad en la entrada
Interrupotor	Protección
Panel de conexión de cargas	Evaluar el inversor.

**Tabla 3:** Componentes utilizados en el lado de AC

El panel de conexión de cargas está formado por 6 bombillas y dos enchufes para poder regular así las distintas cargas conectadas, así como la potencia de carga conectada. También se instaló un shunt que finalmente no ha sido necesario utilizar debido a la existencia de unas pinzas amperimétricas de corriente alterna en el material de medición.



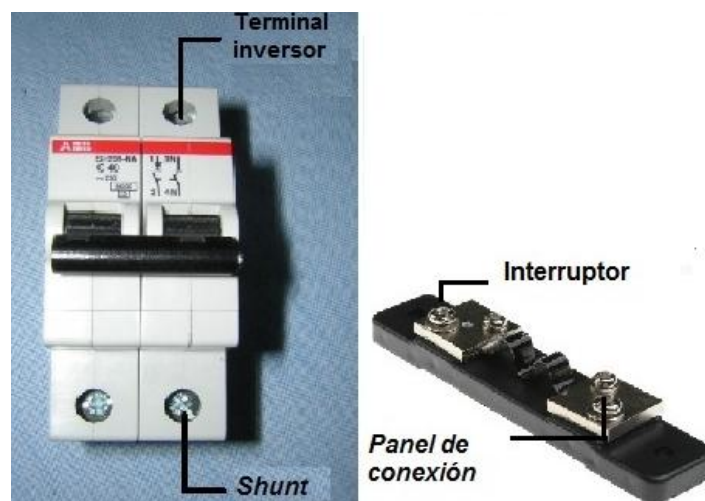
## Banco de ensayos



**Figura 10:** *Panel de conexión*

La conexión se debe realizar de la siguiente manera:

- El terminal correspondiente a la fase de la salida del inversor debe ser conectado a la entrada del interruptor.
- La salida del interruptor como en el caso de DC, debe ser conectado a uno de los terminales del shunt.
- El otro terminal del shunt debe ser conectado a la entrada del panel de conexión
- El otro terminal de la salida del inversor, el neutro, debe ser conectado al otro terminal del panel de conexión.



**Figura 11:** *Conexiones del inversor y el shunt en AC*





Los cables, al igual que en el lado de DC, deben tener la suficiente sección como para soportar la intensidad que ha de circular por el.

## 4.2 COSTE

Los costes derivados de la construcción del banco de ensayos han sido los siguientes:

<i>Componente</i>	<i>Precio SOLES (/s)</i>	<i>Precio DÓLARES (\$)</i>
Interruptor 10 A	20	7,29
Interruptor 50 A	70	25,52
Cable	1,8 x 1 metro	0,65 x 1 metro
Shunt	4	1,5
Focos (100 W)	2	0,73
Enchufe	3	1,09

Teniendo en cuenta que en se ha gastado unos 3 metros de cable y que contamos con 6 focos y dos enchufes, el precio estimado de la construcción del banco de ensayos sería de unos 118/s (43\$). Cabe señalar que la potencia de las bombillas, el amperaje de los interruptores y la sección de los cables deben variar según la potencia nominal del inversor y por tanto el precio de los mismos.

## 4.3 CARACTERÍSTICAS Y MEDICIONES

Las características medidas son las que contempla la normativa actual peruana en el apartado de características eléctricas. Para las mediciones de las características se han utilizados los siguientes instrumentos.

- Fluke 43B: Para las mediciones, en la parte de AC, de tensiones y corrientes así como de potencias, frecuencias, factor de potencia y distorsión armónica. Consta de dos sondas de tensión y unas pinzas amperimétricas.
- Voltímetro: Medición de tensiones en la parte de DC.



- WT210 Yokogawa: vatímetro digital. Para medir tensión, intensidad, rendimiento y distorsión armónica.

#### 4.3.1 Distorsión armónica

Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda sinusoidal, se dice que la señal está distorsionada. La distorsión armónica de la onda de tensión o de corriente es una medida de su parecido con una onda sinusoidal<sup>12</sup>. Puede deberse a fenómenos transitorios (arranque de motores, efector de tormentas...) y condiciones permanentes (armónicos en estado estable, normal en los sistemas eléctricos).

Del teorema de Fourier se define que una función periódica cualquiera puede descomponerse como la suma de funciones sinusoidales siendo la primera armónica, denominada señal fundamental, del mismo período y frecuencia que la función original y en resto serán funciones sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental<sup>24</sup>. Por ejemplo, si tenemos una frecuencia fundamental de 60 Hz, el 5 armónico será de 300 Hz.

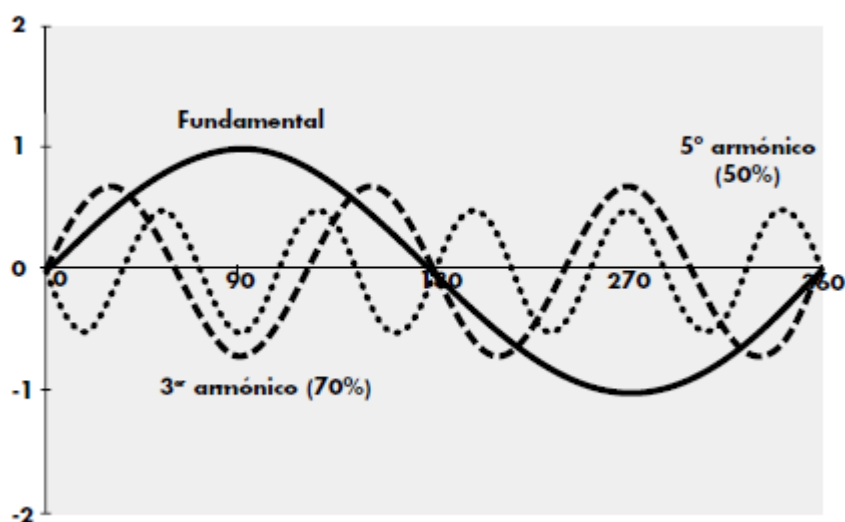


Figura 12: Onda fundamental con 3º y 5º armónico



Para cuantificar la distorsión armónica existente en una señal, se define la distorsión armónica total, THD. En la ecuación 4.1 se ha supuesto que se trata de una onda de tensión (THDV). Si se tratase de una onda de corriente se utilizaría el subíndice I (THDI).

$$THDV = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{h=2} V_h}}{V_1}$$

**Ecuación 4.1**

Donde  $V_1$  es la tensión o corriente fundamental y  $V_h$  es el armónico de orden  $h$ . Puede producir distintos efectos adversos como pueden ser; el sobrecalentamiento de cables, fallo en los transformadores e interferencias entre otros. Reduce la vida de los transformadores entre un 10% y un 20%<sup>23</sup>. Cuando las distorsiones son bajas, no producen problemas significativos.

Para la medición de la distorsión armónica se precisa de instrumentos especializados como son osciloscopios digitales, vatímetros... El equipo efectúa mediante la transformada rápida de Fourier varias integraciones, resultando coeficientes que expresados en relación a la fundamental, constituyen el espectro de corrientes armónicas.

En estos ensayos se ha utilizado el Fluke 43B. Para su medición sólo se ha de colocar las dos sondas de tensión en la entrada del panel de conexión.

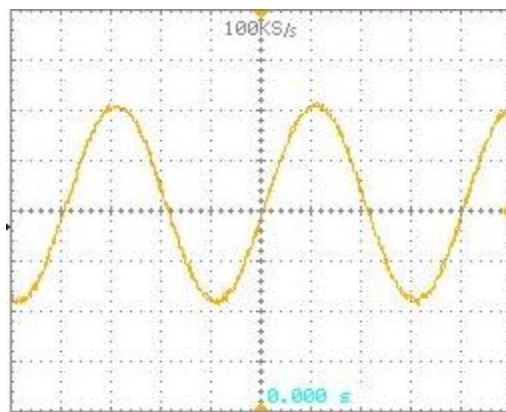
#### **4.3.2 Regulación de la tensión y la frecuencia**

Las cargas conectadas al inversor, para evitar malos funcionamientos, deben ser operadas a tensión y frecuencia fijas. Frente a cambios de la tensión de entrada y de la carga, el inversor debe mantener la tensión de salida y la frecuencia cerca de sus valores nominales.

La medición de la tensión ha sido realizada mediante el Fluke 43B. Las sondas de tensión han de ser colocadas en la salida del inversor. En el caso de no contar con material especializado bastará con conectar un polímetro de verdadero valor eficaz en el mismo lugar en el que se colocarían las sondas de tensión del Fluke. La medición



de la frecuencia la realiza el mismo aparato. De no contar un aparato tan sofisticado, sería suficiente con un osciloscopio normal, de los que se pueden encontrar en cualquier laboratorio. Se deberá conectar a la salida del inversor y calcular primeramente el periodo multiplicando el número de cuadrados que ocupe un ciclo de la señal por la escala seleccionada. Una vez calculado simplemente habrá que hallar el inverso de ese número y obtendremos la frecuencia. Si por ejemplo la señal del osciloscopio fuera la Figura 13 y la escala seleccionada para su visionado fuera 5 ms. El periodo sería  $T=4 \times 5 \cdot 10^{-3} = 0,02$  s. La frecuencia por tanto sería  $f= 50\text{Hz}$ .



**Figura 13:** Señal de osciloscopio

#### **4.3.3 Tensión de desconexión y reposición**

Cuando la tensión de entrada del inversor desciende a umbrales peligrosos, se desconecta automáticamente para protegerse a sí mismo. La desconexión es inmediata pudiendo desconectarse sin previo aviso en el arranque de un motor si la tensión de la batería desciende ese umbral por unos instantes. Esta tensión varía según el fabricante incluso según el modelo del inversor. Una vez que el inversor detecta que la tensión de entrada ha subido hasta un determinado umbral se vuelve a conectar, llamándose ese umbral tensión de reposición.

Para la medición debe conectarse un polímetro en la entrada del inversor. Se deberá conectar la carga hasta que llegue a la potencia nominal del inversor y esperar a que el inversor se desconecte. La tensión medida por el polímetro en el momento de la desconexión será el umbral de desconexión. Una vez llegado a este punto, se



desconectarán las cargas y se esperará hasta que suba la tensión de la batería lo suficiente para que se reconecte el inversor. A veces no es suficiente la desconexión de las cargas para que la batería alcance el valor requerido de tensión. En tal caso se deberá conectar en paralelo a la batería una fuente de alimentación para cargarla lo suficiente con el fin de que alcance dicho valor. Este procedimiento requiere que se descargue la batería por completo. No sería necesario si se contara con una fuente de alimentación que nos proporcionase la tensión e intensidad requeridas en el lado de DC. No se contaba con dicho material en el laboratorio por lo que se realizaron las pruebas con el procedimiento previamente explicado. No todos los inversores cuentan con rearme automático por desconexión. En tal caso se deberá conectar manualmente.

#### **4.3.4 Potencia Nominal y Potencia de Arranque**

La potencia nominal es la potencia máxima que puede entregar el inversor. Es un valor imprescindible para la elección del inversor. La potencia nominal de la carga indica la potencia consumida por la carga en régimen estacionario. Debe dimensionarse de tal manera que la suma de todas las potencias de los componentes que puedan estar conectados simultáneamente, debe ser menor o igual que la potencia nominal del inversor. También debe asegurar el arranque de motores en cualquier condición de funcionamiento.

Para la medición de la potencia de salida en el inversor, es necesario colocar a la salida el Fluke 43B. Las sondas de tensión han de ser colocadas de la misma manera que para la medición de la distorsión armónica. Para la medición de la corriente, se deben colocar las pinzas amperimétricas en cualquier cable del circuito de AC. En este caso se ha seleccionado el que une el interruptor con el inversor. El instrumento calcula con las dos medidas anteriores la potencia. Si contáramos con cargas totalmente resistivas, podríamos calcularla sin material tan especializado ya que el  $FP=1$ . El factor de potencia (FP) es la relación entre potencia activa (P) y potencia aparente (S).

$$FP = \frac{P}{S}$$

**Ecuación 4.2**



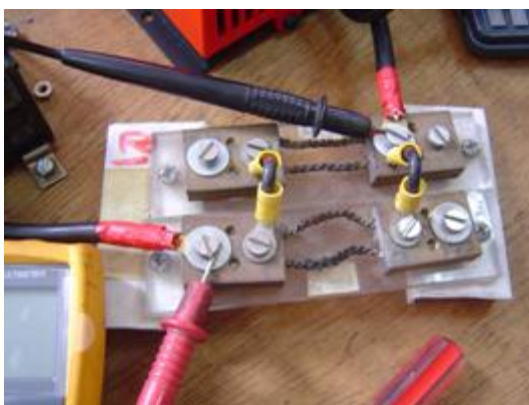
Su valor es menor o igual a 1. Cuando más cercano a la unidad mejor rendimiento eléctrico. La potencia en cualquier dispositivo que contenga bobinas, enrollados y motores se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = V_{ACrms} \times I_{ACrms} \times FP$$

**Ecuación 4.3**

Siendo  $V_{ACrms}^b$  e  $I_{ACrms}$  los valores eficaces de la tensión y de la intensidad respectivamente.

La medición por lo tanto para cargas resistivas se realizaría usando un polímetro conectado en paralelo al shunt de AC como se muestra en la Figura 14. Con ello se hallaría mediante la ley de Ohm la intensidad que circula por él.



**Figura 14:** Shunt utilizado en el lado de AC

Si imaginamos por ejemplo que el shunt es de  $4,5 \text{ m}\Omega$  y la medición de la tensión que cae en él es de  $103,5 \text{ mV}$ , la intensidad sería:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{103,5 \times 10^{-3}}{4,5 \times 10^{-3}} = 23A$$

Para la medición de la tensión se colocaría otro polímetro en la salida del inversor. Es imprescindible que los dos polímetros sean de verdadero valor eficaz para que las

<sup>b</sup> Rms: root square o valor eficaz



medidas sean fidedignas. Para el cálculo de la potencia, sólo se debería multiplicar la tensión por la intensidad medida con el shunt.

$$P_{AC} = V_{AC} \text{ rms} \times I_{AC} \text{ rms}$$

**Ecuación 4.4**

La potencia de arranque indica la potencia máxima consumida en el momento de poner en marcha una carga<sup>12</sup>. Puede llegar a alcanzar hasta 5 ó 6 veces la potencia nominal medida en la red eléctrica. Estos valores no son los mismos medidos en un inversor ya que este parámetro varía significativamente dependiendo del inversor utilizado. Este suceso ocurre igualmente con la distorsión armónica y el factor de potencia.

Para las mediciones de la potencia de arranque es necesario material especializado. En este caso se ha efectuado como se ha venido indicando con el Fluke 43B, colocando las sondas y las pinzas amperimétricas como en las pruebas realizadas con anterioridad.

#### **4.3.5 Eficiencia o rendimiento**

El rendimiento es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada en el inversor. Se ve afectada no sólo por las pérdidas producidas en la conmutación, sino también por las pérdidas debidas a elementos pasivos, como son los transformadores, filtros, etc. Varía con la potencia de salida y con la carga entre otros factores.

Para su medición es necesario medir la potencia de entrada (en el lado de DC) y la potencia de salida (en el lado de AC) del inversor. La potencia de salida se mide de la misma manera que en el apartado 4.2.4. Para la medición de la potencia de entrada no es necesario material especializado. Se efectuaría con un polímetro utilizando el shunt para la medición de la intensidad de la misma manera que en el lado de AC. Posteriormente se calcularía el rendimiento mediante la Ecuación 4.4.

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \times 100$$

**Ecuación 4.5**

Siendo  $\eta$  el rendimiento,  $P_{DC}$  la potencia de entrada y  $P_{AC}$  la potencia de salida.



#### **4.3.6 Autoconsumo**

El autoconsumo es la potencia consumida por el inversor cuando no está conectada ninguna carga a su salida. El autoconsumo depende directamente de la tensión de entrada y de el modo de funcionamiento del inversor; Continuo o Stand By. En el modo Stand By, el inversor envía pulsos a las cargas hasta que detecta la presencia de alguna para pasar a modo de funcionamiento continuo. Si la carga es demasiado pequeña es posible que el inversor no la detecte y por lo tanto no la ponga en funcionamiento. No todos los inversores disponen de este modo de operación. En el modo de operación continuo, el inversor genera constantemente la tensión de salida por lo que su autoconsumo será considerablemente mayor.

Para determinar el autoconsumo basta con medir en vacío la potencia en la entrada (lado DC) como se ha explicado en apartados anteriores.





## 5 RESULTADOS



## Resultados

Se han realizado mediciones sobre tres inversores. Dos de ellos del mismo modelo pero año de fabricación distintos. El tercer inversor se averió como se comentará posteriormente, comprándose un cuarto inversor del mismo modelo que también terminó por averiarse. Sus características facilitadas por los fabricantes se pueden ver en la tabla 3.

<b>Inversor</b>	<b>Tensión Nominal</b>	<b>Potencia Nominal</b>	<b>Frecuencia de salida</b>	<b>Tensión salida</b>	<b>Tipo de onda</b>
Inversor 1	12 V	550 W	50 Hz	220V	Sinusoidal
Inversor 2	12 V	550 W	50 Hz	220V	Sinusoidal
Inversor 3	12 V	350 VA	50 Hz	220V	Trapezoidal

**Tabla 4:** *Inversores evaluados durante los ensayos*

Los inversores 1 y 2 son el model Solarix 550 RI mientras que el tercero es el Bostontek 350W.

### 5.1 DISTORSIÓN ARMÓNICA

Las mediciones de los 3 inversores para cargas resistivas han sido las siguientes.

<b>PAC [W]</b>	<b>THD %r</b>		<b>PAC [W]</b>	<b>THD %r</b>		<b>PAC [W]</b>	<b>THD %r</b>
430	8,5		412	6,9		268	39,60
414	7,8		401	6,7		246	39,40
365	6,9		362	5,8		188	36,00
269	5,5		282	4,8		106	30,00
182	4,3		182	5,6		0	26,60
95	2,6		92	2,7			
0	1,9		0	1,5			

a)

b)

c)

**Tabla 5:** *Distorsión armónica a) primer inversor b) segundo inversor y c) tercer inversor*



Como se puede observar en la tabla 4, la distorsión armónica es considerablemente mayor en el inversor número tres. Eso es debido a que los inversores de onda no sinusoidal tienen una distorsión armónica mayor, llegando incluso los de onda cuadrada a valores aproximadamente del 48%. Aún así las cargas conectadas funcionaron correctamente.

Si nos fijamos en las recomendaciones de la normativa peruana de calidad en los servicios eléctricos para la red <sup>21</sup>, la distorsión armónica no debe superar el 6%, valor sobrepasado ampliamente por el inversor de onda no sinusoidal y también por los inversores de onda sinusoidal a potencia nominal. Sin embargo las cargas han funcionado con normalidad. Por este motivo y teniendo en cuenta que la distorsión armónica varía ampliamente dependiendo del tipo de inversor utilizado, se recomienda simplemente que el inversor sea capaz de operar las cargas adecuadamente evitando interferencias. Preferiblemente ha de ser un inversor de onda sinusoidal ya que es el que opera de forma más parecida a la red eléctrica y por tanto menor perturbación.

## 5.2 REGULACIÓN DE TENSIÓN Y FRECUENCIA

Como se ha mencionado anteriormente, tanto la tensión como la frecuencia deben operar cerca de sus valores nominales para evitar malos funcionamientos, o incluso deterioro de cargas que utilizan la frecuencia como referencia. En los ensayos realizados se aprecian cambios mínimos en la frecuencia como se puede distinguir en la Tabla 5. Han sido realizados para distintos valores de potencia en las cargas, desde 0% hasta el 100% de su potencia nominal.

La normativa peruana de calidad eléctrica impone una restricción de  $\pm 1\text{Hz}^{21}$  (2%) para la red eléctrica siendo aplicable también a los inversores quienes lo cumplen holgadamente. Por lo tanto podría ser positivo asumir un 2% de variación de la frecuencia como obligatorio y un 1% como recomendado.

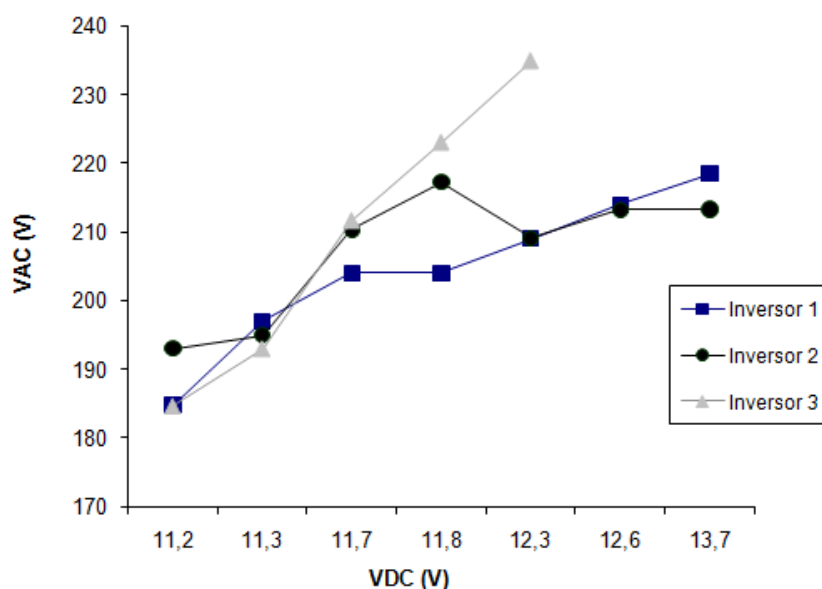


## Resultados

VDC [V]	VAC [V]	f [Hz]		VDC [V]	VAC [V]	f [Hz]		VDC [V]	VAC [V]	f [Hz]
11,17	184,8	49,5		11,11	193	49,5		10,42	184,6	51,10
11,30	197	49,5		11,30	195	49,5		10,70	193	51,13
11,65	204	49,5		11,51	210,3	49,5		11,15	211,7	51,20
11,75	204	49,5		11,82	217,3	49,5		11,75	223,1	51,20
12,30	209	49,5		12,15	209,1	49,5		12,52	235	51,20
12,56	214	49,5		12,47	213,2	49,5				
13,67	218,5	49,5		12,76	213,3	49,5				
a)				b)				c)		

**Tabla 6:** Tensión de salida y frecuencia para valores de potencia en las cargas desde el 0% hasta al 100% de su potencia nominal de a) primer inversor b) segundo inversor y c) tercer inversor

La regulación de la tensión se muestra muy afectada por la variación de la carga y de la tensión de entrada como se puede distinguir en la Figura 15, llegando incluso a disminuir notablemente la radiación de las luminarias, impidiendo que funcionen con completa normalidad. Como se puede apreciar los tres inversores muestran una regulación de la tensión muy mala.



**Figura 15:** Tensión de salida en función de la tensión de entrada de los 3 inversores estudiados para variaciones en las cargas desde el 0% al 100% de su potencia nominal



Por este motivo es necesario que la tensión de salida en corriente alterna se deba mantener entre  $\pm 10\%$  del valor nominal para cualquier carga y todo el rango de tensiones de entrada siendo recomendable que ese valor sea del 5%.

### 5.3 TENSIÓN DE DESCONEXIÓN Y REPOSICIÓN

La medición de estos valores se realizó con normalidad tanto en el primer como en el segundo inversor, mientras que en el tercero el bajo punto del umbral de desconexión, llevó a las cargas a perder casi totalmente su luminosidad llegando incluso a la avería del inversor. Una vez concluida la prueba siguió funcionando, pero sin trabajar en condiciones normales; mala luminosidad de las cargas, valores de tensión de salida y de intensidad incoherentes, etc. Fue necesaria la compra de un cuarto inversor para concluir con las mediciones, averiándose también pero esta vez en la medición de la potencia de salida.

<i><b>Inversor</b></i>	<i><b>T. Desconexión</b></i>	<i><b>T. Reposición</b></i>
1	11,1	12,9
2	10,8	12,5
3	10,0	ND

Nota: ND; no disponible

**Tabla 7:** *Tensión de desconexión y reposición*

Cuando el inversor se desconecta por baja tensión en la entrada lo hace para protegerse a sí mismo y no para proteger a la batería. El inversor inicialmente se debe colocar a la salida del regulador para evitar el deterioro de la batería por sobredescarga. Esto presenta varios inconvenientes. En primer lugar la caída de tensión entre el inversor y la batería debe ser lo más pequeña posible para evitar en la medida de lo posible el rizado de la corriente DC. En los ensayos realizados, inicialmente la caída de tensión entre estos dos componentes era de 1.3V aproximadamente, ocasionando el corte de alimentación por baja tensión en los bornes del inversor. Dicha anomalía impedía llevar a cabo las mediciones con normalidad, ya que la caída de tensión de la batería era tan brusca que no permitía la conexión de cargas hasta llegar a su potencia nominal. La eliminación de parte del



cableado así como la sustitución de este por uno de mayor sección rebajó el valor de la caída de tensión a 0.8 V permitiendo la correcta medición y conexión de las cargas. En segundo lugar el inversor puede deteriorarse si el regulador corta repentinamente la alimentación cuando este tiene cargas conectadas. Por último, el regulador puede no ser capaz de soportar la intensidad demandada por el inversor, especialmente en el arranque de motores.

Es también posible conectar el inversor directamente a la batería cuando cuente con control de descarga de la batería y se asegure el correcto funcionamiento y protección de la instalación.

En el segundo caso (la batería se conecta directamente al inversor) es necesario que se proteja también a la batería, siendo por ello de obligatorio cumplimiento que la tensión de desconexión sea mayor que 10,8 V, evitando así tanto la descarga total de la batería con su posible deterioro, como la posible avería del inversor. Sin embargo el inversor debe permitir que la tensión de entrada baje durante unos segundos ese umbral, necesario para el arranque de motores<sup>12</sup>.

No todos los inversores evaluados cuentan con sistema de reconexión automática, siendo el último quién no ofrece esta característica. En este caso se debe hacer manualmente. Es recomendable que cuenten con esta característica para de este modo facilitar la utilización del inversor evitando que los usuarios tengan que llevar a cabo la reconexión manual. El reglamento técnico señala que:

*“La tensión de reposición del consumo debe estar entre 13,5V y 13,8V”<sup>14</sup>*

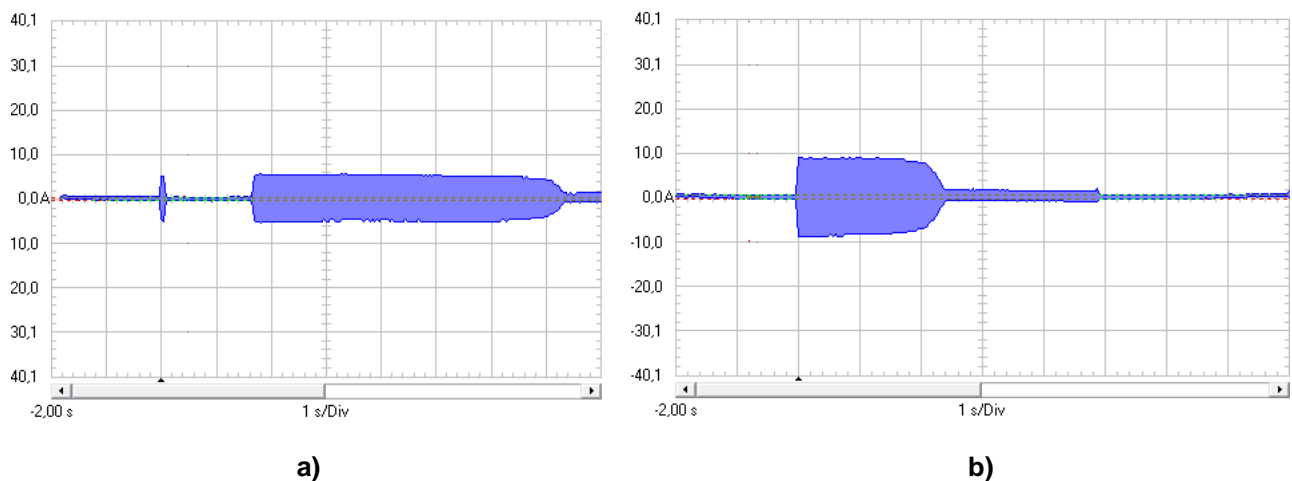
Un valor tan elevado en la tensión de reposición cargaría la batería totalmente. Durante el transcurso de esta carga la instalación estaría inutilizada llegando incluso a periodos de algunos días sin que los consumidores pudieran hacer uso de la instalación. Para evitar la inutilización de la instalación durante un largo periodo de tiempo se recomienda que el valor de tensión de la reposición sea menor.



## 5.4 POTENCIA NOMINAL Y POTENCIA DE ARRANQUE

Es necesario para un buen funcionamiento del inversor, que sea capaz de operar con distintas cargas simultáneamente siempre y cuando la suma de las potencias nominales de éstas sea igual o inferior a la potencia nominal del inversor. Los inversores 1 y 2 no sufrieron percances en esta operación, mientras que el 3 era incapaz de arrancar motores simultáneamente con cargas resistivas llegando incluso a la avería del mismo. Sólo se debe usar inversores de onda no sinusoidal cuando aseguren el buen funcionamiento de todas las cargas que van a ser conectadas.

La potencia de arranque normalmente puede alcanzar hasta 5 ó 6 veces la potencia nominal cuando es arrancada por la red eléctrica<sup>12</sup>. En general los inversores suelen ser capaces de arrancar las cargas, utilizando para ello mayor tiempo pero menor potencia de arranque que la red eléctrica. Por ejemplo, en los ensayos realizados en el laboratorio el Inversor 1 necesitó 5,48 s y una intensidad de arranque de 5,6 A para arrancar un motor de 440 W, mientras que la red necesitó solamente 2,4 s pero una intensidad de arranque de 9,2 A.



**Figura 16:** Intensidad de arranque de a) inversor 1 b) red eléctrica

Como se puede observar, el arranque de las cargas es distinto entre el inversor y la red eléctrica pero no por ello conlleva un mal funcionamiento del inversor. En las pruebas realizadas los inversores 1 y 2, no sufrieron inconvenientes arrancando los motores conectados utilizando para ello tiempos y potencia de arranque semejantes. El tercer inversor logró arrancar un ventilador de 50W siendo imposible el arranque de



un motor de 320 W como debería haberse podido esperar por la potencia nominal del mismo.

En resumen, las medidas realizadas con la red eléctrica son muy distintas a las realizadas con los inversores. Por consiguiente es inútil formular un proyecto de norma, ya que no se sabe a ciencia cierta que potencia necesitará la carga para arrancar. No obstante se deberá asegurar el correcto funcionamiento de cargas conectadas simultáneamente asegurando que dos cargas que necesiten una gran cantidad de potencia no estarán conectadas a la vez.

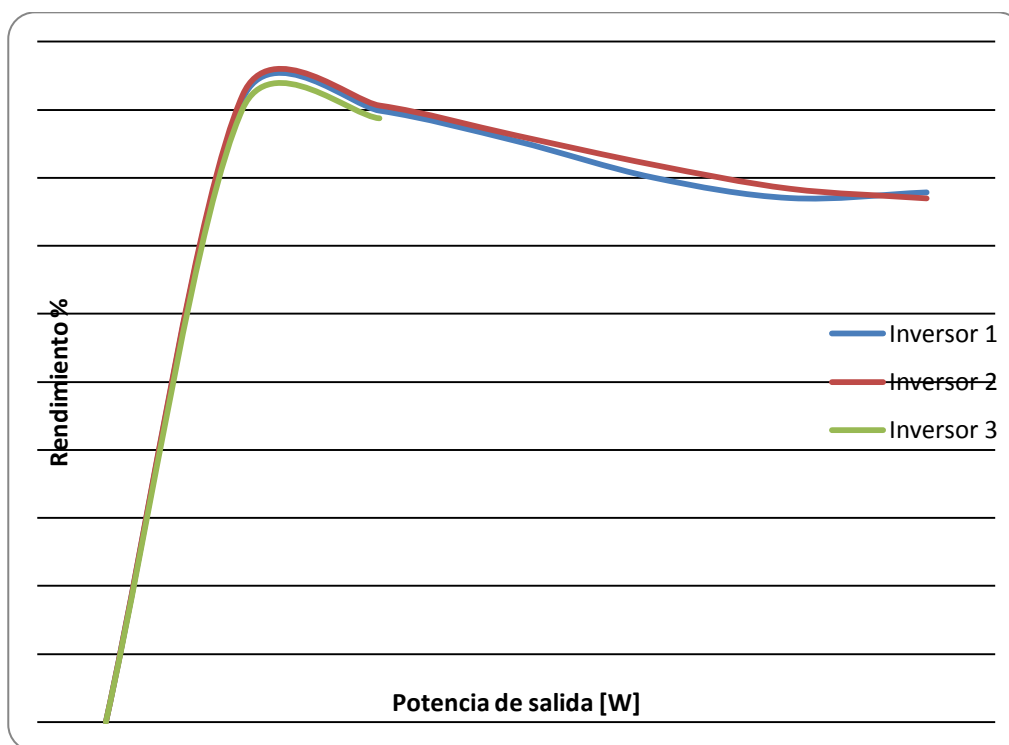
### 5.5 EFICIENCIA O RENDIMIENTO

En el diseño del inversor se debe tener en cuenta que la energía tiene un precio elevado (por el alto coste inicial de la instalación) y no se debe desperdiciar. Por ello la instalación, y por lo tanto los inversores, deben caracterizarse por una alta fiabilidad y eficiencia en todas las condiciones de trabajo. Especialmente en instalaciones rurales, ya que se fuerza al inversor a trabajar en un rango amplio de valores y las exigencias deben ser mayores. Los inversores que cuentan con un autoconsumo reducido, alcanzan su eficiencia máxima entre el 20 y el 50% de su potencia nominal para posteriormente decrecer como se observa en la Figura 17. Es importante trabajar en la parte de la curva de la eficiencia de mayor valor.





## Resultados



**Figura 17:** *Potencia de salida en función del rendimiento de los tres inversores con cargas resistivas*

Los rendimientos medidos en los tres inversores oscilan entre los 77% y el 92% para cargas resistivas como se puede observar en la tabla. No se pudo completar la medición en todos los rangos deseados en la conexión de cargas resistivas debido al rizado. La corriente continua no es una corriente pura, sino que tiene superpuesta una componente alterna o de rizado. Dependiendo de la resistencia de los cables, los fusibles, etc. la corriente continua puede incitar un rizado en la tensión continua de entrada llegando a impedir el buen funcionamiento de los componentes<sup>12</sup>. En las pruebas realizadas dicha corriente interfirió en el buen funcionamiento del inversor.



## Resultados

<i>PDC</i> [V]	<i>PAC</i> [V]	$\eta$ [%]		<i>PDC</i> [V]	<i>PAC</i> [V]	$\eta$ [%]		<i>PDC</i> [V]	<i>PAC</i> [V]	$\eta$ [%]
552,36	430	77,85		535,27	412	77,53		NM	268	NM
537,52	414	79,07		511,56	401	78,78		NM	246	NM
456,05	365	80,04		441,87	362	83,74		215,00	188	88,74
315,01	269	85,4		327,12	282	85,6		117,61	106	90,14
202,52	182	89,87		200,84	182	88,63		6,30	0	0,00
103,70	95	91,61		99,82	92	92,17				
5,67	0	0		3,94	0	0				

Nota: NM, no medido

a)

b)

c)

**Tabla 8;** Rendimiento, Potencia de Salida y Potencia de entrada para variaciones de la potencia de las cargas entre el 0% y el 100% de su potencia nominal en a) inversor 1, b) inversor 2 y c) inversor 3

Como se ha mencionado con anterioridad el rendimiento es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. Por ello es necesario medir dichas potencias para el cálculo del rendimiento. Para el cálculo de la potencia continua se deben realizar los cálculos explicados en el apartado 4.2.3 (Potencia Nominal y Potencia de Arranque). Sin embargo cuando el rizado es significativo se debe calcular con un osciloscopio o de manera aproximada con un polímetro mediante la Ecuación 5.1, siendo  $V_{rms}$  y  $I_{rms}$  los valores eficaces de la tensión y la corriente de entrada,  $V_{DC}$  la tensión continua de entrada y  $I_{DC}$  la intensidad continua de entrada.

$$P_{DC} = V_{DC} I_{DC} - V_{rms} I_{rms}$$

**Ecuación 5.1**

El instrumento disponible para las mediciones era el WT210 Yokogawa (Vatímetro Digital). Solo medía hasta 20 A siendo imposible realizar todas las medidas ya que a potencia nominal la corriente de entrada era aproximadamente de 30 A.

En las mediciones con cargas fluorescentes, como se muestra en la Tabla 7, el rendimiento de las cargas resistivas es mayor que en las cargas no resistivas. Los factores de potencia para los inversores 1 y 2 fueron respectivamente 0,43 y 0,44. Las medidas en el tercer inversor no se pudieron completar por la avería del mismo.



## Resultados

	<b>Inversor 1</b> <b>Rendimiento [%]</b>	<b>Inversor 2</b> <b>Rendimiento [%]</b>
<b>Lámparas</b>	94,85	79,95
<b>Fluorescentes</b>	84,16	75,57

**Tabla 9:** *Rendimiento con cargas resistivas y no resistivas de los dos inversores a la misma potencia de carga de 75W*

Por lo tanto, para asegurar una buena eficiencia se recomienda que el rendimiento sea superior al 85% entre el 10% y el 100% de su potencia nominal, siendo obligatorio que dicha eficiencia sea mayor del 75% en los rangos anteriormente citados.

## 5.6 AUTOCONSUMO

El autoconsumo como se ha comentado anteriormente, depende de la tensión de entrada. El decremento del autoconsumo evitaría pérdidas energéticas cuando el inversor no está funcionando, llegando estas a valores muy elevados cuando se mantiene en desuso durante largos periodos de tiempo. En los ensayos realizados los tres inversores han mostrado un reducido autoconsumo.

<b><i>Inversor</i></b>	<b><i>Autoconsumo</i></b>
1	5,67 W
2	3,94 W
3	6,3 W

**Tabla 10:** *Autoconsumo en Vatios de los inversores medidos.*

Si el inversor contase con la función de Stand By, sería recomendable su uso disminuyendo así notablemente las pérdidas. En el caso de no contar con ese sistema de operación, es aconsejable que en modo continuo estos valores no sean mayores del 1% siendo obligatorio que no superen el 3% de su potencia nominal<sup>12</sup>.



## 6 CONCLUSIONES



## Conclusiones

Los objetivos marcados para este proyecto se llevaron a cabo satisfactoriamente. La evaluación de los distintos inversores utilizados en Perú en las instalaciones fotovoltaicas ha permitido establecer de manera más clara y concreta las características eléctricas que deben cumplir para su mejor funcionamiento. Se pudieron llevar a cabo las medidas de las características eléctricas recogidas en las especificaciones técnicas para la electrificación rural exceptuando la potencia de salida para cargas no resistivas debido a la avería del último inversor. Dicha avería y la posterior de otro inversor del mismo modelo dificultaron las pruebas realizadas. No obstante impidieron sólo la medición de la característica antes citada. La poca disponibilidad para la compra de este componente durante el desarrollo del proyecto en la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú (UNI), no ha permitido realizar todas las pruebas en un gran número de inversores distintos como habría sido de mayor utilidad. Aún así gracias a las pruebas realizadas en el laboratorio y el análisis de resultados posterior, se ha propuesto un estándar técnico que pretende ayudar a destruir poco a poco las barreras tecnológicas que aún existen para la electrificación rural.

Se ha montado satisfactoriamente el banco de ensayos quedándose en uno de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la UNI, estableciéndose los materiales necesarios y la forma correcta de conexionar los mismos. Así mismo se ha establecido como se pueden medir todas las especificaciones en un laboratorio local. De esa manera cualquier laboratorio que quiera comprobar especificaciones sin contar con material especializado tendrá una guía para el montaje del banco de ensayos necesario y el procedimiento a seguir para la medición de las características requeridas.

La importancia de las instalaciones solares ha hecho que cada vez con mayor frecuencia exista un mayor interés por el gobierno peruano por atender las necesidades energéticas en las zonas rurales. Se están uniendo esfuerzos para que sean cada vez instalaciones más numerosas y mas eficientes. Aunque poco a poco se van cubriendo todas las necesidades se sigue requiriendo ayuda en la electrificación de partes del país, así como del estudio de las posibles mejoras a realizar en las ya existentes.



## 7 BIBLIOGRAFÍA



## Bibliografía

1. **A.Labouret y M.Villoz:** Energía Solar Fotovoltaica Manual Práctico. 2008
2. **Ingeniería sin fronteras:** Energía Solar Fotovoltaica y cooperación al desarrollo. Instituto de estudios Políticos para América Latina y África. 1999
3. **Ministerio de Industria y energía:** Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Editorial Ciemat.
4. **Javier Martín Jiménez:** Sistemas Solares Fotovoltaicos; fundamentos tecnologías y aplicaciones. AMV Ediciones. 2008
5. **Eduardo Lorenzo y otros:** Electricidad Solar. Ingeniería de los sistemas Fotovoltaicos. Progensa. 1994
6. **Javier María Méndez y Rafael Cuervo García:** Energía Solar Fotovoltaica. 4ª Edición. Fundación Confemental.2009
7. **Manuel Tobajas Vázquez:** Energía Solar Fotovoltaica. Ediciones Ceysa.2002
8. **Colectivo:** Sistemas de energía Fotovoltaica. Manual de Instalador. Progensa. 2005
9. **Miguel Pareja Aparicio:** Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada. Marcombo. 2009
10. **Varios Autores:** Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Editorial Ciemat.
11. **José M. Fernández Salgado:** Guía completa de la energía solar fotovoltaica. Amv ediciones.
12. **Javier Muñoz Cano:** Recomendaciones sobre el uso de la corriente alterna en la electrificación rural fotovoltaica. Tesis Doctoral. Septiembre.2004.
13. **J.Muñoz y E. Lorenzo:** Technical standard for stand-alone PV systems using inverters. Instituto de Energía Solar.June 2003



- 14. Ministerio de Energía y Minas dirección General de Electrificación:** Especificaciones técnicas y procedimientos de evaluación del sistema fotovoltaicos y sus componentes para la electrificación rural. Norma Peruana. Enero 2007.
- 15. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad:** Instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 300 Wp de potencia-requisitos. Norma Boliviana. Junio 2000.
- 16. Instituto Nacional de Normalización:** Especificaciones generales para sistemas fotovoltaicos domésticos de 12V corriente continua. Norma Chilena. 2004
- 17. ICONTEC:** Norma técnica Colombiana 5627
- 18. Comunidad Mundial para profesionales de la energía sostenible:**  
<http://www.leonardo-energy.org>
- 19. Javier María Méndez Muñiz y otros:** Energía Solar Fotovoltaica. Fundación Confemental.
- 20. Dirección general de electricidad, Ministerio de Energía y Minas:** Perú Sector eléctrico 2010. Documento Promotor. 2010
- 21. Ministerio de Energía y Minas:** Norma de calidad de los servicios eléctricos. DECRETO SUPREMO No 020-97-EM. 1997
- 22. Manfred Horn:** El estado actual de las energías renovables no convencionales en el Perú. II Conferencia Regional Latinoamericana de la Internacional Solar Energy Society (ISES). 2006
- 23. Eugenio Téllez Ramírez:** Distorsión Armónica. Automatización, Productividad y Calidad S.A.
- 24. David Champan:** Guía de calidad de la energía eléctrica; Armónicos, causas y efectos. Copper Development Association UK.2001
- 25. Norma UNE 21123-4**





# ANEXO I: PROPOSICIÓN DE ESTÁNDAR TÉCNICO PARA INVERSORES USADOS EN SISTEMAS AISLADOS

El objetivo de este Anexo es poner de manera clara las conclusiones sobre las características eléctricas a las que se llegó en el apartado 5, Resultados y Conclusiones. Han sido clasificadas en dos categorías distintas.

- Recomendadas (R) : Señaladas con R, es aconsejable para el buen funcionamiento del inversor y con ello de toda la instalación
- Obligatorias (O): Señaladas con O, su incumplimiento puede llevar al deterioro del componente con los consabidos problemas para toda la instalación.

Características eléctricas:

- El inversor debe ser capaz de operar adecuadamente todas las cargas evitando interferencias electromagnéticas a pesar de la distorsión armónica.(O)
- La onda sinusoidal es preferible a la onda no sinusoidal. (R)
- La fluctuación de la frecuencia debe ser menor al 2% del valor nominal en cualquier condición de estado y para todos los voltajes DC que permite el área de distribución. (O)
- La fluctuación de la frecuencia debe ser menor al 1% del valor nominal en cualquier condición de e
- La fluctuación del valor eficaz de la tensión de salida de CA debe ser menor del 5% del valor nominal en cualquier condición y para todos los voltajes DC de entrada. (O)
- La fluctuación del valor eficaz de la tensión de salida de CA debe ser menor del 10% del valor nominal en cualquier condición y para todos los voltajes DC de entrada. (R)
- Las cargas conectadas deben ser compatibles. Debe asegurarse que el inversor funcione al encender una carga con el resto funcionando normalmente. (O)



## Anexo I: Proposición de estándar técnico para inversores usados en sistemas aislados

- El rendimiento debe ser mayor al 85% entre el 10% y el 90% de su potencia nominal para cualquier factor de carga. (R)
- El rendimiento debe ser mayor al 75% entre el 10% y el 90% de su potencia nominal para cualquier factor de carga. (O)
- Las pérdidas causadas por el autoconsumo en vacío o en espera, deben ser menores al 3% de la potencia nominal del inversor. (O)
- Las pérdidas causadas por el autoconsumo en vacío o en espera, deben ser menores al 1% de la potencia nominal del inversor. (R)



